6 月 June
2019, 62(6): 710 - 719

昆 虫 学 报
ACTA ENTOMOLOGICA SINICA

http: //www. insect. org. cn
doi: 10.16380/j. kcxb. 2019. 06. 007

# 室内条件下以枣树为寄主的苹褐带卷蛾的生长发育、繁殖及对产卵基质的选择性

李广伟[1,2], 孙 勇[2], 王宇晶[2], 李诗琪[2], 康 乐[2], 陈玉鑫[2], 徐世才[1,2,*]

(1. 陕西省红枣重点实验室(延安大学), 陕西延安 716000;
2. 延安大学生命科学学院, 陕西延安 716000)

**摘要:**【目的】苹褐带卷蛾 *Adoxophyes orana* 在陕北红枣种植区对枣树 *Ziziphus jujube* 的危害有逐年加重的趋势。本研究旨在明确以枣树为寄主的苹褐带卷蛾发育历期、繁殖能力及雌虫对产卵基质的选择性,为准确预测、高效治理该虫提供理论依据。【方法】在室温 25 ±1℃、相对湿度 70% ±5%、光周期 15L: 9D 的条件下,以枣树叶片为食料,观察苹褐带卷蛾实验种群的生长发育及繁殖能力;通过测定补充不同营养物质后雌蛾的单雌产卵量,评价外源营养对苹褐带卷蛾繁殖力的影响;通过观察苹褐带卷蛾雌蛾在硫酸纸、滤纸、白纸、PE 保鲜膜及装订胶片 5 种基质上的总落卵量,确定其对无机产卵基质的选择性。【结果】苹褐带卷蛾卵、幼虫、蛹和成虫的平均发育历期分别为 7.38 ±1.22, 16.59 ±2.16, 7.01 ±0.79 和 16.65 ±5.15 d,平均世代历期为 33.87 ±3.64 d。苹褐带卷蛾在枣树上的内禀增长率($r_m$)、周限增长率($\lambda$)和种群加倍时间($D_t$)分别为 0.15 $d^{-1}$, 1.16 $d^{-1}$ 和4.67 d,平均产卵量达 339.52 ±129.93 粒/雌。雌虫可多次产卵,表现出明显的昼夜节律(多在 0:00 - 8:00 时段内);平均产卵次数 6.26 ±2.09 次,雌虫羽化后第 3 - 5 天达到产卵盛期。雌蛾在 PE 保鲜膜上的总落卵量显著大于在其他产卵基质上的总落卵量。补给不同浓度白糖水的雌蛾,其产卵量与补给纯净水的雌蛾的产卵量差异不显著。【结论】苹褐带卷蛾能够以枣树叶片为食物完成发育并繁殖可育后代,PE 保鲜膜是其雌蛾适宜的无机产卵基质。

**关键词:** 苹褐带卷蛾; 发育历期; 产卵; 营养补给; 产卵选择性
**中图分类号:** Q968 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296(2019)06-0710-10

# Development, reproduction, and oviposition substrate selection of the summerfruit tortrix, *Adoxophyes orana* (Lepidoptera: Tortricidae), with jujube as the host under indoor conditions

LI Guang-Wei[1,2], SUN Yong[2], WANG Yu-Jing[2], LI Shi-Qi[2], KANG Le[2], CHEN Yu-Xin[2], XU Shi-Cai[1,2,*] (1. Shaanxi Key Laboratory of Chinese Jujube (Yan'an University), Yan'an, Shaanxi 716000, China; 2. College of Life Sciences, Yan'an University, Yan'an, Shaanxi 716000, China)

**Abstract:**【Aim】An increasing damage of the summer fruit tortrix moth, *Adoxophyes orana*, has been observed on jujube (*Ziziphus jujube*) in jujube growing regions of Northern Shaanxi in recent years. This study aims to clarify the developmental duration, fecundity and oviposition substrate selection of this jujube pest, so as to provide a theoretical reference for its prediction and prevention.【Methods】The growth, development and reproduction of *A. orana* feeding on jujube leaves were observed under the conditions of 25 ±1℃, 70% ±5% RH and a photoperiod of 15L: 9D. The effects of supplementary

基金项目: 延安大学博士科学研究启动项目(YDBK2017-37); 国家自然科学基金项目(31860506)
作者简介: 李广伟, 男, 1982 年 3 月生, 甘肃会宁人, 博士, 讲师, 研究方向为农业害虫综合治理, E-mail: xbbjb2010@ sina. com
[*] 通讯作者 Corresponding author, E-mail: shicaixu@ 163. com
收稿日期 Received: 2019-01-11; 接受日期 Accepted: 2019-04-07

nutrition on the reproduction of *A. orana* were assessed by measuring the fecundity per female moth when supplemented with different nutrients. The oviposition preference of female adults of *A. orana* to five substrates, including parchment paper, filter paper, white paper, polyethylene (PE) preservative film and plastic binding film, was investigated by counting the number of accumulated eggs on different substrates. 【Results】The duration of egg, larval, pupal, and adult stages of *A. orana* was 7.38 ± 1.22, 16.59 ± 2.16, 7.01 ± 0.79, and 16.65 ± 5.15 d, respectively. The mean generation duration was 33.87 ± 3.64 d. The intrinsic rate of increase ($r_m$), finite rate of increase ($\lambda$) and population doubling time ($D_t$) were 0.15 $d^{-1}$, 1.16 $d^{-1}$ and 4.67 d, respectively. The average fecundity of adult was 339.52 ± 129.93 eggs laid per female. The female adults of *A. orana* oviposit eggs multiple times (6.26 ± 2.09 on average), showing an obvious circadian rhythm (most in 0:00 – 8:00). The peak oviposition appeared at 3 – 5 d after emergence. The total fecundity on PE preservative film was significantly higher than that on the other substrates. There was no significant difference in the total fecundity between the female adults fed with sugar solution at different concentrations and those fed with water. 【Conclusion】*A. orana* feeding on jujube leaves can accomplish its development and reproduce fertile offspring, and PE preservative film is the suitable inorganic oviposition substrate for its female moths.

**Key words**: *Adoxophyes orana*; developmental duration; oviposition; nutrition supply; oviposition preference

苹褐带卷蛾 *Adoxophyes orana* 属鳞翅目(Lepidoptera)卷叶蛾科(Tortricidae)。该虫寄主非常广泛,主要危害苹果、梨、桃、李、杏、山楂、茶、柑橘、棉花、杨、榆等 30 余属的植物(Charmillot and Brunner, 1989; Kocourek and Stará, 2005; 孙丽娜等, 2015)。近 20 年以来,随着我国北方果树种植结构的调整,果树种植面积迅速扩大,苹褐带卷蛾在苹果、桃等果树上严重发生。如在河北深州桃产区,一般桃园苹褐带卷蛾的为害率可达 30% ~50%(温素卿和孟树标, 2018);在甘肃秦安县重度发生的桃园新梢受害率达 55% ~70%(李彦军, 2014);在山东烟台一般苹果园新梢被害率达 10% ~15%,重度发生苹果园新梢被害率可达 75%(陈梅香等, 2007);在河北保定苹果产区发生严重的果园枝梢被害率高达 81%(吕兴等, 2013)。延安市所辖县区属陕西省主要的苹果和红枣种植区,苹褐带卷蛾以前主要危害苹果,近年来对枣树的危害日趋严重。目前,对苹褐带卷蛾能够在枣树上发生危害的机理尚不清楚,其在枣树上生长发育和繁殖的能力有待研究。

前人对苹褐带卷蛾的研究主要集中在生物学特性观察(Ankersmit *et al*., 1976)、种群发生规律(Milonas and Savopoulou-Soultani, 2006; Cho *et al*., 2010)、毒力测定及药剂筛选(Lee and Kang, 2014)、性信息素合成及诱捕技术(Minks and Noordink, 1971; Meijer *et al*., 1972; Minks and Voerman, 1973; Porcel *et al*., 2015)、滞育机理(Berlinger and Ankersmit, 1976)、雄性不育技术(Ankersmit and van der Meer, 1973)等方面。孙丽娜等(2015)研究了苹小卷叶蛾在苹果、桃、李和杏 4 种寄主植物上的发育和繁殖情况,发现取食苹果叶片的苹小卷叶蛾世代历期最短,取食李叶片的世代历期最长;取食桃叶片的雌虫产卵量最多,取食杏叶片的产卵量最少。Milonas 和 Savopoulou-Soultani(2000)的研究表明,苹褐带卷蛾在 14 ~30℃的恒温下均可完成发育和繁殖,但雌虫在 14℃下产卵量最低。冯明祥等(1991)的研究发现,第 1 代和第 2 代棉褐带卷蛾的平均世代发育历期相近,但第 1 代雌虫的产卵量显著高于第 2 代雌虫。前人对苹褐带卷蛾在不同寄主、温度下的发育、繁殖等生物学特性进行了较为广泛的研究,但对成虫行为学特性的研究和记录尚不够详细和清晰。本研究以枣树为寄主植物,对取食枣树叶片的苹褐带卷蛾各虫态的发育历期进行测定,对成虫的羽化节律、雌虫的产卵行为、雌虫对产卵基质的选择以及营养补给对雌虫产卵量的影响等进行了详细观察和研究,旨在对苹褐带卷蛾的预测预报及综合防治策略的制定提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试虫饲养

苹褐带卷蛾幼虫采自延安大学红枣重点实验室

实验基地栽植的枣树 *Ziziphus jujube* 木枣(Muzao)(木枣抗裂1号,河北农业大学枣中心选育,种质资源编号:ZIJUJ1309210237)和骏枣(Junzao)(骏枣1号,山西省林业科学研究院选育,种质资源编号:ZIJUJ1423230001)品种上,以木枣嫩叶饲喂幼虫繁殖2代后作为供试虫源。供试幼虫在人工气候箱内饲养,饲养条件:温度 25±1℃、相对湿度 70%±5%、光周期 15L∶9D。为防止苹褐带卷蛾幼虫之间相互感染颗粒体病毒(*Adoxophyes orana* granulovirus, AoGv),饲养幼虫的枣树叶片用0.2%次氯酸钠清洗并晾干后再进行饲喂。幼虫化蛹后雌雄分开,分别置于养虫盒内,待成虫羽化后立即进行相关试验或用5%白糖水饲喂。

**1.2 苹褐带卷蛾各虫态发育历期观察**

**1.2.1** 卵期:将羽化后的成虫按雌∶雄=1∶1的比例配对,然后饲养在一次性塑料杯内,杯口用PE保鲜膜封闭并用大头针在保鲜膜上刺若干小孔以保证透气。向棉球上滴加5%白糖水后放置在塑料杯底部的小盖内供成虫补给营养,每日更换一次。每日0:00, 8:00 和16:00 时分别标记一次雌虫产在保鲜膜或塑料杯侧壁上的鱼鳞形卵块,待卵块达3 d后在解剖镜下记录数量。每个处理800粒卵,重复3次,记录产卵和卵孵化的时间,计算卵的发育历期。

**1.2.2** 幼虫期:将初孵幼虫用软毛笔轻轻转移至盛有木枣嫩叶(选取距茎尖端的第3-5片叶,叶龄5-12 d)的指形管中单头饲养,每2 d更换一次新鲜叶片。幼虫饲养方法同前,每个重复记录250头幼虫,共重复3次。每日8:00 和20:00 时分别记录一次幼虫的存活和蜕皮情况,参考前人的方法(冯明祥等, 1991; Milonasand Savopoulou-Soultani, 2000; 王芳等, 2016)确定幼虫不同龄期的发育历期,最后计算整个幼虫的发育历期。

**1.2.3** 蛹期及成虫羽化节律:(1)蛹期:老熟幼虫化蛹后,雌雄分开并单头放入指形管中,纱布封口,置于人工气候箱内培养,人工气候箱温湿度和光照条件同幼虫饲养条件。每日分别于8:00, 16:00 和0:00 时各记录一次羽化的雌雄虫数量。(2)成虫羽化节律:为了便于用夜视红外摄像机(DS-2CD3T35D-I5,海康威视)记录成虫的羽化节律,将同时化蛹的蛹置于同一指形管中,每管5头。每个重复记录100头蛹,共重复3次。将蛹置于室内夜视红外摄像机能够清晰观察到的小区域,且此区域的蛹能够感受到自然光的变化情况。通过回看录像数据统计8:00-12:00, 12:00-16:00, 16:00-20:00, 20:00-次日0:00, 0:00-4:00 和4:00-8:00内羽化的成虫数量。

**1.2.4** 成虫期及产卵行为:(1)成虫期:将初羽化的成虫分雌雄单头饲养于一次性塑料杯内,杯口用保鲜膜封闭并用大头针穿刺小洞确保通气。成虫用滴加5%白糖水的棉球进行饲喂,每日更换一次棉球直至成虫全部死亡,计算成虫的寿命并分析消亡动态。人工气候箱内温湿度和光照设置同前。(2)雌虫产卵行为:将初羽化成虫按雌∶雄=1∶1配对后放入一次性塑料杯内饲养,饲喂5%白糖水补充营养。每个重复记录35对成虫,共重复3次。分别于8:00 和20:00 时各记录一次成虫的产卵、死亡情况,计算雌虫的产卵前期、产卵期、产卵量和产卵次数。

**1.2.5** 生命表参数的确定:参考丁岩钦(1994)、李定旭等(2012)的方法计算苹褐带卷蛾以枣树为寄主植物的生命表参数,包括净增殖率($R_0$)、世代平均周期($T$)、内禀增长率($r_m$)、周限增长率($\lambda$)和种群加倍时间($D_t$)。

**1.3 成虫对产卵基质的选择性观察**

分别以PE保鲜膜、硫酸纸、装订胶片、白纸和滤纸为产卵基质,剪成15 cm×3 cm大小,用双面胶随机贴于用亚克力板(厚度:2 mm)制成的正方形养虫箱(15 cm×15 cm×15 cm)的上下、前后、左右共6个侧壁上。养虫箱内按照雌∶雄=1∶1的比例放置5对初羽化的成虫,并悬挂一个滴加5%白糖水的棉球供成虫补充营养,每日记录一次各产卵基质上的产卵量并更换一次棉球。重复5次。人工气候箱内温湿度及光照设置同前。

**1.4 营养补给对雌蛾产卵量的影响**

将初羽化的成虫按雌∶雄=1∶1的比例配对后置于一次性塑料杯内,在杯底放置一个瓶盖并用双面胶固定,将棉球置于瓶盖内并进行以下不同处理:(1)向棉球中不加任何物质;(2)加入纯净水;(3)加入2.5%白糖水;(4)加入5.0%白糖水;(5)加入10.0%白糖水。每日在0:00, 8:00 和16:00 时各加一次营养物质,确保营养供给充足。每个重复记录5对成虫的产卵量,共重复3次。

**1.5 数据处理**

采用SPSS Statistics 18.0统计软件处理实验数据,各处理平均值经过方差分析后,用Tukey氏HSD检验法进行差异显著性分析($P<0.05$);雌、雄蛹的发育历期、雌、雄成虫寿命的两性之间差异显著性利用独立样本$t$检验($\alpha=0.05$)进行检测。

# 2　结果

## 2.1　苹褐带卷蛾各虫态发育历期和种群生命表参数

在供试温湿度和光照条件下，苹褐带卷蛾卵、幼虫、蛹和成虫的平均发育历期分别为 7.38 ± 1.22，16.59 ±2.16，7.01 +0.79 和 16.65 ±5.15 d。平均世代历期 33.87 ±3.64 d(表 1)。雄蛹的发育历期(7.50 ±0.67 d)显著长于雌蛹的(6.37 ±0.72 d)($P$ =0.032)，雌(16.57 ±4.97 d)和雄(16.72 ±5.30 d)成虫寿命无显著性差异($P$ =0.795)。取食枣树叶片的苹褐带卷蛾的净增殖率($R_0$)、内禀增长率($r_m$)、周限增长率(λ)和种群加倍时间($D_t$)分别为 190.21 子代$^{-1}$，0.15 d$^{-1}$，1.16 d$^{-1}$和4.67 d(表2)。

**表 1　苹褐带卷蛾各虫态的发育历期**

**Table 1　Duration of different developmental stages of *Adoxophyes orana***

| 统计项目 Statistical items | 样本数 Sample number | 参数值 Parameter values |
|---|---|---|
| 卵期 Egg duration (d) | 1 996 | 7.38 ±1.22 |
| 1 龄幼虫期 1st instar larval duration (d) | 721 | 3.40 ±0.44 |
| 2 龄幼虫期 2nd instar larval duration (d) | 714 | 2.23 ±0.28 |
| 3 龄幼虫期 3rd instar larval duration (d) | 682 | 2.27 ±0.25 |
| 4 龄幼虫期 4th instar larval duration (d) | 667 | 3.12 ±0.40 |
| 5 龄幼虫期 5th instar larval duration (d) | 625 | 5.67 ±0.73 |
| 幼虫期 Larval duration (d) | 625 | 16.59 ±2.16 |
| 蛹期 Pupal duration (d) | ♀296 | 6.37 ±0.72 b |
| | ♂266 | 7.01 ±0.79 a |
| 成虫期 Adult duration (d) | ♀284 | 16.57 ±4.97 a |
| | ♂257 | 16.72 ±5.30 a |
| 产卵前期 Preoviposition period (d) | 100 | 2.89 +1.41 |
| 平均世代历期 Mean generation duration (d) | 100 | 33.87 ±3.64 |

表中数据为平均值 ± 标准误，同一参数值后的不同小写字母表示雌雄之间的发育历期差异显著(独立样本 $t$ 检验，$P$ < 0.05)。Data in the table are mean ± *SE*. Different lowercase letters following the data of the same parameter indicate significantly different developmental duration between female and male (independent samples $t$-test, $P$ <0.05).

**表 2　取食枣树叶片的苹褐带卷蛾种群生命表参数**

**Table 2　Life table parameters of *Adoxophyes orana* population feeding on jujube leaves**

| 统计项目 Statistical items | 参数值 Parameter values |
|---|---|
| 净增殖率($R_0$) Net reproductive rate (offspring$^{-1}$) | 190.21 |
| 世代平均周期($T$) Mean generation time (d) | 35.32 |
| 内禀增长率($r_m$) Intrinsic rate of increase (d$^{-1}$) | 0.15 |
| 周限增长率(λ) Finite rate of increase (d$^{-1}$) | 1.16 |
| 种群加倍时间($D_t$) Population doubling time (d) | 4.67 |

## 2.2　苹褐带卷蛾成虫羽化的昼夜节律

苹褐带卷蛾雌雄蛾的羽化均表现出明显的昼夜节律。雄蛾在 0:00 –4:00 和 4:00 –8:00 时段内羽化的数量显著高于其他时段内羽化的雄蛾数量($P$ <0.05)，两个时段内羽化的雄蛾数量分别占总羽化雄蛾数的 28.67% 和 30.22% (图 1)。雌蛾表现出与雄蛾相似的羽化节律，但雌蛾在 4:00 –8:00 时段内羽化的数量最大(38.22%)，显著高于 0:00 –

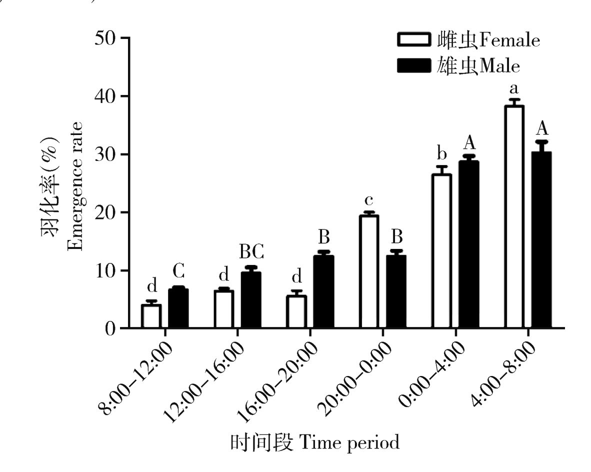



图 1　苹褐带卷蛾成虫羽化的昼夜节律

Fig. 1　Circadian rhythms of adult emergence of *Adoxophyes orana*

标上不同小写字母和大写字母分别表示雌蛾和雄蛾在不同时段内的羽化率差异显著(Tukey 氏 HSD 检验，$P$ < 0.05)。Different lowercase and capital letters above bars indicate significantly different emergence rate among different time periods of the female and male, respectively (Tukey's HSD test, $P$ <0.05).

4:00 时段内羽化的雌蛾数量(26.45%)($P<0.05$)。在其他时段内亦观察到有成虫羽化,但羽化的雌雄蛾数量均低于总羽化成虫数的 20%。

## 2.3 苹褐带卷蛾成虫存活曲线

在 25℃恒温、5% 白糖水补给营养的条件下,供试雌和雄蛾的个体寿命分别介于 3 ~ 34 d 和 3 ~ 28 d,平均寿命分别为 16.57 ± 4.97 d 和 16.72 ± 5.30 d,雌雄蛾的寿命之间无显著差异($P=0.795$)。从雌雄蛾的存活曲线可知,雌蛾在 10 日龄前死亡率较低,存活率高达 94%。在羽化后第 11 – 22 天的时段内约有 76% 的个体死亡,至羽化第 23 天后,存活率降低至 5%;至羽化第 34 天时雌虫全部死亡。雄蛾的存活曲线与雌蛾类似,但雄蛾的死亡时间相对更集中,至羽化第 28 天时雄蛾全部死亡(图 2)。

## 2.4 苹褐带卷蛾雌蛾产卵动态

取食枣树叶片的苹褐带卷蛾雌蛾单雌产卵量介于 71 ~691 粒之间,平均产卵量为 339.52 ± 129.93 粒/雌(表 3)。由于不同个体之间产卵量差异较大,致使平均产卵量的标准误也较大。苹褐带卷蛾部分雌蛾在羽化当日即可进行交配,羽化后第 2 天即有 12% 的个体开始产卵,平均产卵量可达 21.09 ± 1.16 粒/雌。雌虫羽化后第 4 天产卵达到最大值,日平均产卵量可达 68.19 ± 2.52 粒/雌(图 3)。雌虫羽化后第 3 – 5 天属产卵高峰期,3 日累计产卵量占雌虫平均产卵量的 56.91%。雌虫在羽化第 5 天后其产卵量剧烈降低,待羽化第 20 天后,存活的雌蛾均不再产卵。苹褐带卷蛾具有多次产卵的习性,待测雌蛾的产卵次数在 3 ~ 11 次之间,平均产卵次数达 6.26 ± 2.09 次/雌(表 3),其中产卵 5 ~ 8 次的雌蛾所占的比例显著高于其他产卵频次的雌蛾(图 4)。将全天人为地等分成 6 个时段,通过研究苹褐带卷蛾雌蛾产卵的昼夜节律发现,雌蛾主要在夜间产卵,在 0:00 – 4:00 和 4:00 – 8:00 时段内的产卵量显著高于其他时段,但在 0:00 – 4:00 和 4:00 – 8:00 时段内的产卵量差异不显著($P>0.05$)(图 5)。

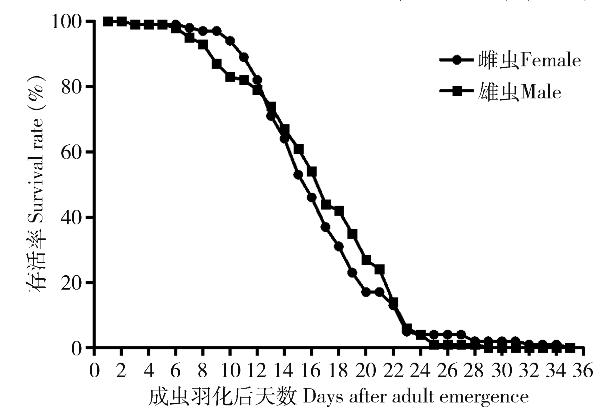



图 2 苹褐带卷蛾成虫的存活率曲线

Fig. 2 Survival curves of *Adoxophyes orana* adults

表 3 取食枣树叶片的苹褐带卷蛾雌蛾的发育和繁殖能力

**Table 3 Development and fecundity of *Adoxophyes orana* female adults feeding on jujube leaves**

| 统计项目 Statistical items | 平均值 ± 标准误 Mean ± *SE* | 范围 Range | 样本数 Sample number |
|---|---|---|---|
| 产卵前期 Pre-oviposition duration (d) | 2.87 ± 1.35 | 1.0 – 7.5 | 100 |
| 产卵期 Oviposition duration (d) | 8.16 ± 2.67 | 2 – 15 | 100 |
| 平均产卵量(粒/雌) Mean fecundity (number of eggs laid per female) | 339.52 ± 129.93 | 71 – 691 | 100 |
| 产卵次数(次) Oviposition frequency (times) | 6.26 ± 2.09 | 3 – 11 | 100 |

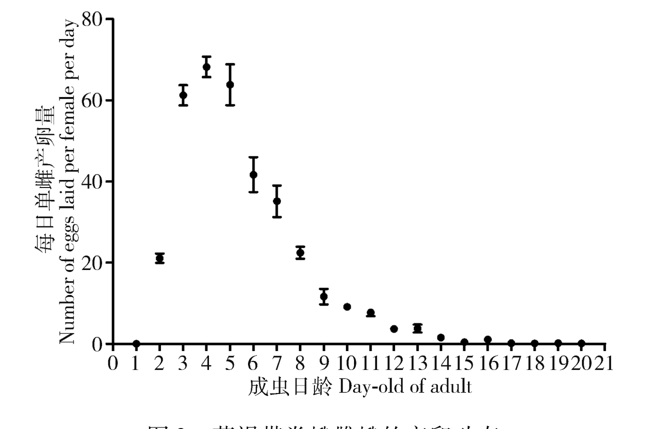



图 3 苹褐带卷蛾雌蛾的产卵动态

Fig. 3 Oviposition dynamics of female adults of *Adoxophyes orana*

## 2.5 补充营养对苹褐带卷蛾雌蛾产卵量的影响

水分或补给营养对苹褐带卷蛾雌蛾的产卵能力至关重要。不饲喂清水的雌蛾平均产卵量仅为 79.62 ± 9.49 粒/雌,显著低于饲喂清水或不同浓度白糖水雌蛾的产卵量(图 6)。补给 2.5%, 5.0% 和 10.0% 白糖水的雌蛾其产卵量分别为 360.92 ± 17.09, 360.26 ± 18.54 和 410.84 ± 17.90 粒/雌,略高于饲喂清水的雌蛾的产卵量(347.38 ± 8.29 粒/雌),但差异显著性分析表明补给 2.5% ~10.0% 白糖水对雌蛾的产卵量与补给清水的雌蛾产卵量之间无显著差异($P>0.05$)(图 6)。

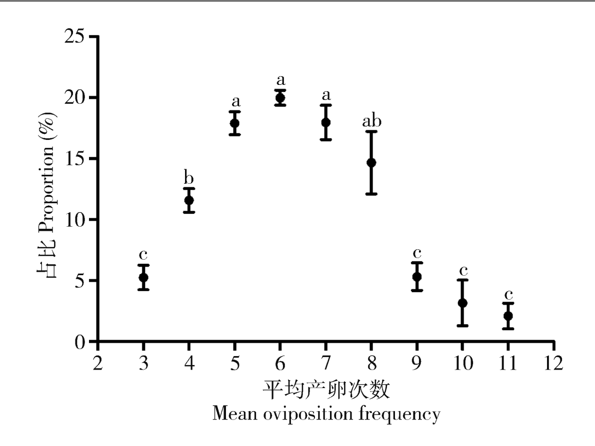



图 4　苹褐带卷蛾雌蛾的产卵频次

Fig. 4　Oviposition frequency of the female adults of *Adoxophyes orana*

小写字母表示不同产卵次数的雌蛾所占比差异显著(Tukey 氏 HSD 检验, $P<0.05$)。Different lowercase letters indicate significant difference in the proportion of females among different oviposition frequencies (Tukey's HSD test, $P<0.05$).

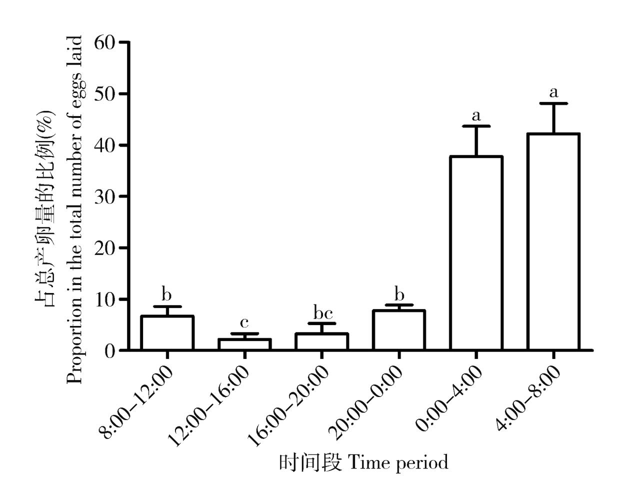



图 5　苹褐带卷蛾雌蛾产卵的昼夜节律

Fig. 5　Circadian rhythm of oviposition of the female adults of *Adoxophyes orana*

柱上不同小写字母表示雌蛾在不同时段内的产卵量占比差异显著(Tukey 氏 HSD 检验, $P<0.05$)。Different lowercase letters above bars indicate significant difference in oviposition proportion of the female among different time periods (Tukey's HSD test, $P<0.05$).

## 2.6　苹褐带卷蛾卵的孵化规律

苹褐带卷蛾雌蛾产卵时将卵排列成鱼鳞状卵块,每卵块由 6 ~ 268 粒不等的卵组成,每卵块中的卵以“炸裂”的方式同时孵化。雌虫多次产卵产生不同卵块的卵,孵化时间不一致是引起平均卵期差异较大的主要原因。卵的发育历期介于 5 ~ 10 d,平均历期 7.38 ± 1.22 d,其中卵在第 7 和 8 天孵化的幼虫数分别占总孵化幼虫数的 32.72% ± 3.83% 和 26.95% ± 2.44%,显著高于第 5, 6 和 8 – 10 天孵化的幼虫数(图 7)。卵在第 5 和 10 天孵化的幼虫数相对较少,分别仅占总孵化幼虫数的 6.36% ± 1.27% 和 4.81% ± 0.43%。

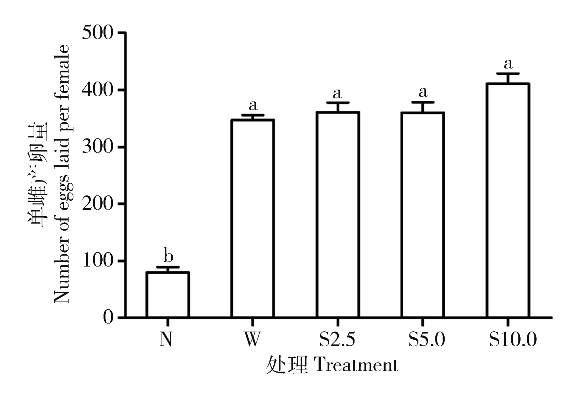



图 6　清水和营养补给对苹褐带卷蛾雌蛾产卵能力的影响

Fig. 6　Effect of water and nutrition supplement on oviposition ability of female adults of *Adoxophyes orana*

N：不饲喂 No feeding; W：清水 Water; S2.5：2.5% 白糖水 2.5% Sugar solution; S5.0：5.0% 白糖水 5.0% Sugar solution; S10.0：10.0% 白糖水 10.0% Sugar solution. 柱上小写字母表示补给不同营养物质的单雌产卵量差异显著(Tukey 氏 HSD 检验, $P<0.05$)。Different lowercase letters above bars indicate significant differences in the number of eggs laid per female fed with different nutrients (Tukey's HSD test, $P<0.05$).

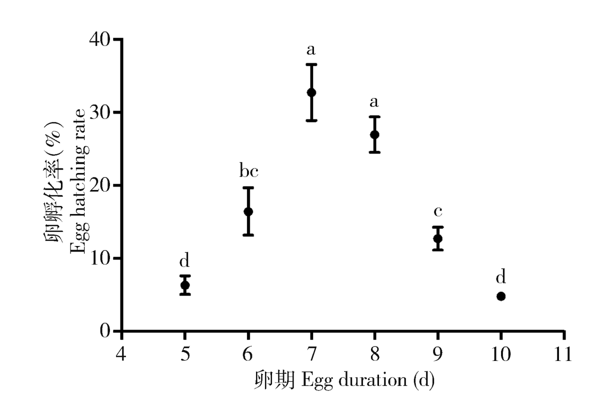



图 7　苹褐带卷蛾卵的孵化规律

Fig. 7　Hatching pattern of *Adoxophyes orana* eggs

小写字母表示不同时间孵化的卵所占百分比差异显著(Tukey 氏 HSD 检验, $P<0.05$)。Different lowercase letters indicate significant differences in the percentage of eggs in different time (Tukey's HSD test, $P<0.05$).

## 2.7　苹褐带卷蛾雌蛾对不同产卵基质的选择性

苹褐带卷蛾雌蛾对产卵基质具有明显的选择性。在供试的 5 种产卵基质中,雌蛾在 PE 保鲜膜

上的落卵量占总落卵量的 67.68% ±2.99%，显著高于在其他产卵基质上的落卵量(图 8)。雌虫在透明装订胶片上亦可选择产卵，落卵量占总落卵量的 29.12% ±1.98%。雌蛾在硫酸纸、白纸和滤纸上的落卵量甚微，在以上 3 种基质上的落卵量均低于总落量的 2.00%。苹褐带卷蛾雌蛾趋向于将卵产于光滑、透明、相对柔软的产卵基质上。

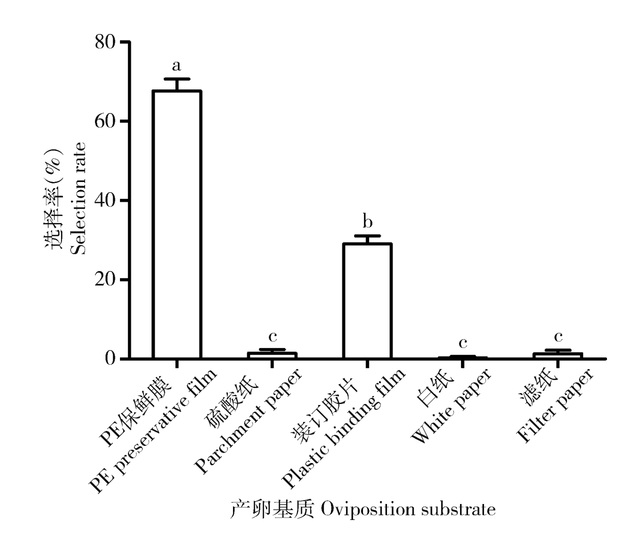



图 8 苹褐带卷蛾雌蛾对不同产卵基质的选择性

Fig. 8 Selectivity of female adults of *Adoxophyes orana* to different oviposition substrates

柱上小写字母表示雌蛾在不同产卵基质上的落卵量差异显著(Tukey 氏 HSD 检验，$P<0.05$)。Different lowercase letters above bars indicate significant differences in the number of eggs laid by female moths on different oviposition substrates (Tukey's HSD test, $P<0.05$).

## 3 讨论

昆虫的生长发育和繁殖受到多种因素的影响。对于害虫来说，寄主植物对其生长繁衍起着关键作用，寄主植物主要通过分泌的次生代谢物质抑制害虫的取食量进而影响害虫的生长发育和繁殖能力(崔晓宁等, 2016; Kostromytska *et al*., 2018)。如取食桃梢和桃果的梨小食心虫 *Grapholita molesta* 其世代发育历期明显短于取食梨梢和梨果的个体，取食桃梢的梨小食心虫其产卵量也显著高于取食梨梢和梨果的个体(Du *et al*., 2015)。黏虫 *Mythimna separata* 在玉米上的世代历期显著短于取食甘蔗和稗草的个体，取食玉米的成虫产卵量显著高于取食甘蔗和稗草的个体(黄芊等, 2018)。本研究结果显示，苹褐带卷蛾能够在枣树上完成发育并产生可育后代，在枣树上的平均世代历期与相同条件下用桃树叶片饲养的种群相近(Milonas and Savopoulou-Soultani, 2000)。取食枣树叶片的苹褐带卷蛾其净增殖率和内禀增长率较取食苹果、桃、李和杏的种群高，种群加倍时间较短(孙丽娜等, 2015)，表明枣树也是适宜苹褐带卷蛾生长发育和繁殖的寄主植物，对枣树具有较高的潜在危害性。至于枣树和苹果、桃哪种寄主植物更适合苹褐带卷蛾的发育和繁殖，尚需在相同条件和操作水平下进行进一步的研究。

在自然界中，部分昆虫在成虫羽化后需要补充营养才能达到性成熟(伍和平和李保平, 2007)。昆虫种类不同，成虫期补充营养对其生殖力的影响也不尽相同。成虫期或产卵前期较长的昆虫，补充营养对成虫生殖至关重要，如补充营养对松褐天牛 *Monochamus alternatus*(林长春等, 2003)、螟蛉绒茧蜂 *Apanteles ruficrus*(李小敏等, 2018)、二点委夜蛾 *Athetis lepigone*(江幸福等, 2015)、草地螟 *Loxostege sticticalis*(张李香等, 2015)的产卵量具有显著的促进作用。但对一些成虫期或产卵前期较短的昆虫，补充营养对其生殖的影响并不明显，如补充营养对甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*(江幸福等, 2000)、非洲粘虫 *Spodoptera exempta* (Gunn and Gatehouse, 1987)、韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga*(周仙红等, 2016)等雌虫的产卵量无显著影响。本研究发现，不补充任何物质的苹褐带卷蛾其雌虫产卵量显著低于补充水分和不同浓度白糖水的雌虫，而补充水分和不同浓度白糖水的雌虫之间产卵量差异不显著(图 6)，表明水分的补充是影响苹褐带卷蛾产卵量的关键因素，成虫期的营养补充不能决定是否产卵及产卵量大小。对幼虫期分别取食人工饲料和棉花的甜菜夜蛾成虫补充相同的营养物质，雌虫的产卵量仍存在显著不同，表明幼虫期营养是影响成虫生殖的主要食物因子(江幸福等, 2000)。在相同的饲养条件下，幼虫期取食苹果的苹褐带卷蛾其产卵量显著高于取食桃、李和杏的产卵量(孙丽娜等, 2015)。由此推测，幼虫期营养对苹褐带卷蛾雌虫产卵量的影响大于成虫期补充营养对雌虫产卵量的促进作用。

选择有效的产卵基质对室内继代饲养昆虫至关重要。昆虫对无机产卵基质的选择与基质的纹理结构(董易之等, 2018)、颜色(Liu *et al*., 2014)、形状(Pittara and Katsoyannos, 1992)、粗糙程度(Bitar *et al*., 2010)、硬度(Nair and Kamath, 2018)等因素有关。本研究发现，产卵基质能够显著影响苹褐带卷

蛾的产卵选择性，雌蛾极其偏好在 PE 保鲜膜基质上产卵，是该虫理想的无机产卵基质（图 8）。雌虫对无机产卵基质的选择性与田间该虫将卵产于苹果、枣树等叶片叶脉主脉周围较为光滑区域的行为具有相似性，苹褐带卷蛾对套塑料袋苹果危害更为严重的现象也表明在果园雌虫亦偏好在光滑、柔软的塑料膜上产卵（王建斌等，2005）。此外，雌虫也可在装订胶片基质上产卵，但总产卵量显著低于在 PE 保鲜膜基质上的产卵量，推测可能与装订胶片基质的柔软度较差有关。雌蛾几乎不选择在硫酸纸、滤纸和白纸基质上产卵，表明产卵基质表面的粗糙度影响苹褐带卷蛾的产卵选择性。其他鳞翅目果树害虫对产卵基质也表现出明显的选择性，如梨小食心虫在硫酸纸基质上的落卵量显著高于在蜡纸、PE 保鲜膜和玻璃载玻片基质上的落卵量（Yokoyama and Miller，1998；刘中芳等，2017）；桃小食心虫 *Carposina sasakii* 更偏好于在刮毛的滤纸基质上产卵，在硫酸纸、白纸等产卵基质上的产卵量极低（张恺月等，2016）；荔枝蛀蒂虫 *Conopomorpha sinensis* 更喜好在表面具有细小缝隙的产卵基质上产卵（董易之等，2018）。本研究初步明确了 PE 保鲜膜是苹褐带卷蛾理想的无机产卵基质，具有材料易得、经济实惠等特点，可有效地应用于该虫的室内人工继代饲养。

**致谢**　感谢南开大学生命科学学院卷蛾科昆虫分类专家李后魂教授鉴定苹褐带卷蛾！

## 参考文献（References）


Ankersmit GW，Pol VBC，Water JK，1976. Temperature and mortality in the eggs of *Adoxophyes orana*（Lepidoptera，Tortricidae）. *Neth. J. Pl. Path.*，82（5）：173－180.

Ankersmit GW，van der Meer FThM，1973. Studies on the sterile-male technique as a means of control of *Adoxophyes orana*（Lepidopt.，Tortricidae）. 1. Problems of mass rearing（crowding effects）. *Neth. J. Pl. Path.*，79（2）：54－61.

Berlinger MJ，Ankersmit GW，1976. Prediapause and diapause development in *Adoxophyes orana*（Lepidoptera，Tortricidae）. *Neth. J. Pl. Path.*，82（4）：147－149.

Bitar LA，Voigt D，Zebitz CPW，Gorb SN，2010. Attachment ability of the codling moth *Cydia pomonella* L. to rough substrates. *J. Insect Physiol.*，56（12）：1966－1972.

Charmillot PJ，Brunner JF，1989. Summerfruit tortrix，*Adoxophyes orana*：lifecycle，warning system and control. *Entomol. Hell.*，7：17－26.

Chen MX，Luo YQ，Geng DM，Wu J，Yu XS，Jin WM，2007. The occurrence and comprehensive control of *Adoxophyes orana*. *North. Hortic.*，（12）：227－229.［陈梅香，骆有庆，耿东梅，吴洁，于潇洒，金万梅，2007. 苹褐带卷蛾的发生与综合治理. 北方园艺，（12）：227－229］

Cho YS，Jang HS，Hae SW，2010. Seasonal catch and control of *Grapholita molesta*（Lepidoptera：Tortricidae）and *Adoxophyes orana*（Lepidoptera：Tortricidae）by mating disruption in pear orchards. *Korean J. Appl. Entomol.*，49（2）：139－144.

Cui XN，Yi ZH，Wang M，Liu DG，Liao SJ，Xu Z，2016. Maturation feeding preference of adult *Agrilus mali* and related host plant leaf volatiles. *Sci. Silv. Sin.*，52（11）：96－106.［崔晓宁，伊志豪，王明，刘德广，廖书江，许正，2016. 苹小吉丁成虫补充营养的偏好性及相关植物挥发物分析. 林业科学，52（11）：96－106］

Ding YQ，1994. Mathematical Ecology of Insects. Science and Technology Press，Beijing. 256－315.［丁岩钦，1994. 昆虫数学生态学. 北京：科学技术出版社. 256－315］

Dong YZ，Yao Q，Chen BX，Xu S，Xu HM，2018. Study on the oviposition preference of the litchi fruit borer，*Conopomorpha sinensis* Bradley（Lepidoptera：Gracillariidae）. *J. Fruit Sci.*，35（2）：204－211.［董易之，姚琼，陈炳旭，徐淑，徐海明，2018. 荔枝蒂蛀虫的产卵选择性研究. 果树学报，35（2）：204－211］

Du J，Li GW，Xu XL，Wu JX，2015. Development and fecundity performance of oriental fruit moth（Lepidoptera：Tortricidae）reared on shoots and fruits of peach and pear in different seasons. *Environ. Entomol.*，4（6）：1522－1530.

Feng MX，Zhang CR，Wang YM，Zhou YS，Dou LD，Qu YQ，1991. Biological observation of *Adoxophyes orana*. *Entomol. Knowl.*，28（3）：149－150.［冯明祥，张慈仁，王耀明，周玉书，窦连灯，曲玉清，1991. 棉褐带卷蛾生物学观察. 昆虫知识，28（3）：149－150］

Gunn A，Gatehouse AG，1987. The influence of larval phase on metabolic reserves，fecundity and lifespan of the African armyworm moth，*Spodoptera exempta*（Walker）（Lepidoptera：Noctuidae）. *Bull. Entomol. Res.*，77（4）：651－660.

Huang Q，Jiang XB，Ling Y，Jiang T，Chen YC，Long D，Long LP，2018. Comparing study on the growth，development and reproduction of *Mythimna separata*（Walker）on four host plants. *Chin. Plant Prot.*，38（9）：5－10.［黄芊，蒋显斌，凌炎，蒋婷，陈玉冲，龙迪，龙丽萍，2018. 黏虫在 4 种寄主植物上的生长发育和繁殖的比较研究. 中国植保导刊，38（9）：5－10］

Jiang XF，Luo LZ，Hu Y，2000. The effect of compensatory nutrition condition on flight ability of beet armyworm *Spodoptera exigua*（Hübner）. *J. Plant Prot.*，27（4）：327－332.［江幸福，罗礼智，胡毅，2000. 成虫期营养对甜菜夜蛾生殖和飞行的影响. 植物保护学报，27（4）：327－332］

Jiang XF，Yao R，Zhang L，Cheng YX，Liu YQ，Luo LZ，2015. Effects of supplementary nutrition on adult reproduction and longevity of *Athetis lepigone*（Mschler）. *J. Plant Prot.*，42（6）：1004－1008.［江幸福，姚瑞，张蕾，程云霞，刘彦群，罗礼智，2015. 补充营养对二点委夜蛾成虫生殖与寿命的影响. 植物保护学报，42（6）：1004－1008］

Kocourek F，Stará J，2005. Predictive value of a model of the flight

activity of *Adoxophyes orana* (Lep.: Tortricidae). *J. Pest Sci.*, 78 (4): 205 – 211.

Kostromytska OS, Rodriguez-Saona C, Alborn HT, Koppenhöfer AM, 2018. Role of plant volatiles in host plant recognition by *Listronotus maculicollis* (Coleoptera: Curculionidae). *J. Chem. Ecol.*, 44(6): 580 – 590.

Lee CK, Kang YM, 2014. Effect of ecofriendly pesticides against *Adoxophyes orana* (Lepidoptera: Tortrididae) on tea tree (*Camellia sinensis* L.). *J. For. Environ. Sci.*, 30(3): 301 – 306.

Li DX, Lei XH, Li Z, Gao LW, Shen ZR, 2012. Effects of different host plants on the development and reproduction of the peach fruit borer, *Carposina sasakii* Matsumura (Lepidoptera: Carposinidae). *Acta Entomol. Sin.*, 55(5): 554 – 560. [李定旭, 雷喜红, 李政, 高灵旺, 沈佐锐, 2012. 不同寄主植物对桃小食心虫生长发育和繁殖的影响. 昆虫学报, 55(5): 554 – 560]

Li XM, Liu JA, Dong WT, He YH, Zhang Q, Zhou GY, 2018. Effects of supplementary nutrition on longevity and fecundity of *Cotesia ruficrus*. *J. Plant Prot.*, 45(2): 208 – 213. [李小敏, 刘君昂, 董文统, 何苑皞, 张茜, 周国英, 2018. 补充外源营养对螟蛉绒茧蜂寿命和繁殖力的影响. 植物保护学报, 45(2): 208 – 213]

Li YJ, 2014. Integrated control technology of *Adoxophyes orana* in pecah orchards, Qin'an, Gansu Province. *Fruit Pr. Technol. Inform.*, (5): 34 – 35. [李彦军, 2014. 甘肃秦安桃园苹小卷叶蛾的综合防治技术. 果树实用技术与信息, (5): 34 – 35]

Lin CC, Lai MH, Lu G, Cai DY, Zhou CM, Zhao MN, 2003. Effects of supplementary nutrition on adult reproduction of *Monochamus alternatus* Hope. *Forest Res.*, 16(4): 398 – 403. [林长春, 赖明惠, 陆高, 蔡道尧, 周成枚, 赵绵年, 2003. 补充营养材料对松褐天牛雌成虫繁殖力的影响. 林业科学研究, 16(4): 398 – 403]

Liu YL, Zhai XZ, Oluwafemi AR, Zhang HY, 2014. Influence of substrate color on oviposition behavior, egg hatchability, and substance of egg origin in the mosquito *Anopheles sinensis* (Wiedemann) (Diptera: Culicidae). *Neotrop. Entomol.*, 43(5): 483 – 487.

Liu ZF, Gao Y, Shi GC, Zhang PJ, Fan JB, Yang J, Lu JJ, Fan RJ, 2017. Oviposition preference of *Grapholita molesta* (Busck) to different kinds of substrates. *Plant Prot.*, 43(5): 124 – 127. [刘中芳, 高越, 史高川, 张鹏九, 樊建斌, 杨静, 陆俊娇, 范仁俊, 2017. 梨小食心虫对不同基质的产卵选择性. 植物保护, 43(5): 124 – 127]

Lv X, Li J, Cao KQ, Wang QY, 2013. The overwintering stages and dynamic monitoring of adults of *Adoxophyes orana* in Baoding, Hebei Province. *Chin. Plant Prot.*, 33(8): 48 – 50. [吕兴, 李进, 曹克强, 王勤英, 2013. 保定地区苹小卷叶蛾越冬虫态调查及成虫发生动态监测. 中国植保导刊, 33(8): 48 – 50]

Meijer GM, Ritter FJ, Persoons CJ, 1972. Sex pheromones of summer fruit tortrix moth *Adoxophyes orana*: two synergistic isomers. *Science*, 175(4029): 1469 – 1470.

Milonas PG, Savopoulou-Soultani M, 2000. Development, survivorship, and reproduction of *Adoxophyes orana* (Lepidoptera: Tortricidae) at constant temperatures. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 93(1): 96 – 102.

Milonas PG, Savopoulou-Soultani M, 2006. Seasonal abundance and population dynamics of *Adoxophyes orana* (Lepidoptera: Tortricidae) in Northern Greece. *Int. J. Pest Manag.*, 52(1): 45 – 51.

Minks AK, Noordink JPW, 1971. Sex attraction of the summerfruit tortrix moth, *Adoxophyes orana*: evaluation in the field. *Entomol. Exp. Appl.*, 14(1): 57 – 72.

Minks AK, Voerman S, 1973. Sex pheromones of the summerfruit tortrix moth, *Adoxophyes orana*: trapping performance in the field. *Entomol. Exp. Appl.*, 16(4): 541 – 549.

Nair RV, Kamath SP, 2018. An effective artificial oviposition substrate for *Pectinophora gossypiella*. *Entomol. Exp. Appl.*, 166(7): 603 – 606.

Pittara IS, Katsoyannos BI, 1992. Effect of shape, size and color on selection of oviposition sites by *Chaetorellia australis*. *Entomol. Exp. Appl.*, 63(2): 105 – 113.

Porcel M, Sjöberg P, Swiergiel W, Dinwiddie R, Rämert B, Tasin M, 2015. Mating disruption of *Spilonota ocellana* and other apple orchard tortricids using a multispecies reservoir dispenser. *Pest Manag. Sci.*, 71(4): 562 – 570.

Sun LN, Qiu GS, Zhang HJ, Yan WT, 2015. Growth, development and reproduction of the summer fruit tortrix moth, *Adoxophyes orana beijingensis* (Lepidoptera: Tortricidae), on four host plants. *Acta Entomol. Sin.*, 58(1): 53 – 59. [孙丽娜, 仇贵生, 张怀江, 闫文涛, 2015. 苹小卷叶蛾在四种寄主植物上的生长发育及繁殖. 昆虫学报, 58(1): 53 – 59]

Wen SQ, Meng SB, 2018. The occurrence and control strategy of *Adoxophyes orana* on peach trees. *Mod. Agric. Sci. Technol.*, (11): 27 – 28. [温素卿, 孟树标, 2018. 苹果小卷叶蛾在桃树上的发生及防治对策. 现代农村科技, (11): 27 – 28]

Wang F, Yu Q, Guo GM, Hao C, Fan RJ, 2016. Determination of larval instar number and duration of the *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). *Chin. J. Appl. Entomol.*, 53(2): 390 – 395. [王芳, 庾琴, 郭贵明, 郝赤, 范仁俊, 2016. 梨小食心虫幼虫龄数和龄期的划分. 应用昆虫学报, 53(2): 390 – 395]

Wang JB, Dong YC, Yin WQ, Yao CW, 2005. The harm of covering film bags of apple of the summer fruit tortrix moth (*Adoxophyes orana*) and its prevention and control. *China Fruits*, (5): 45 – 46. [王建斌, 董应超, 尹文强, 姚成万, 2005. 苹果小卷叶蛾对套塑膜袋苹果的危害及其防治. 中国果树, (5): 45 – 46]

Wu HP, Li BP, 2007. Influence of supplementary food on longevity and feeding behavior of *Meteorus pulchricornis* (Hymenoptera: Braconidae). *Chin. J. Biol. Control*, 23(2): 184 – 187. [伍和平, 李保平, 2007. 补充营养对斑痣悬茧蜂寿命和取食行为的影响. 中国生物防治, 23(2): 184 – 187]

Yokoyama VY, Miller GT, 1988. Laboratory evaluations of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) oviposition and larval survival on five species of stone fruits. *J. Econ. Entomol.*, 81(3): 867 – 872.

Zhang KY, Wang ZQ, Wang HP, 2016. Improved method for collecting eggs of the peach fruit borer, *Carposina sasakii* Matsumura. *Chin.*

*J. Appl. Entomol.*, 53(1): 229–233. [张恺月, 王子谦, 王洪平, 2016. 桃小食心虫卵收集方法的改进. 应用昆虫学报, 53(1): 229–233]

Zhang LX, Fan JS, Wang GQ, 2011. Relationships between the nutritional contents and the fecundity of *Loxostege sticticalis* L. adults. *Plant Prot.*, 37(2): 59–62. [张李香, 范锦胜, 王贵强, 2011. 草地螟成虫期补充营养与其生殖力的关系. 植物保护, 37(2): 59–62]

Zhou XH, Cao X, Shen YF, Zhuang QY, Zhang SC, Yu Y, Zhang AS, 2016. Effects of supplementary nutrition and water on the reproduction and longevity of *Bradysia odoriphaga*. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 53(6): 1205–1210. [周仙红, 曹雪, 沈一凡, 庄乾营, 张思聪, 于毅, 张安盛, 2016. 营养物质和水分对韭菜迟眼蕈蚊成虫繁殖和寿命的影响. 应用昆虫学报, 53(6): 1205–1210]

（责任编辑：赵利辉）